Temperatuursensoren

Analoge temperatuursensoren leveren een analoge spanning of stroom die recht evenredig is met de temperatuur van de sensor. Met deze sensoren kunt u op een heel eenvoudige manier allerlei temperatuuralarmen en thermostaten ontwerpen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 12-05-2019

Inleidende begrippen

Wat is temperatuur?
In 1857 stelt de Duitse fysicus Clausius vast dat temperatuur niets anders is dan de gemiddelde bewegingsenergie van de fundamentele deeltjes waaruit alle materie bestaat. Hoe sneller deze deeltjes bewegen of trillen, hoe hoger de temperatuur ervan is. Dank zij deze definitie van temperatuur wordt het ook duidelijk dat warmte alleen van een voorwerp met een hoge temperatuur naar een voorwerp met een lagere temperatuur kan vloeien. Warm water, gemengd met koud water geeft lauw water. De snelle moleculen van het warme water botsen op de langzame moleculen van het koude water. Na voldoende botsingen treedt er een evenwicht op waarbij alle watermoleculen een gemiddelde snelheid hebben die ergens tussen de snelheid van de warme en de snelheid van de koude moleculen in zit.
Als een voorwerp afkoelt en dus op een lagere temperatuur komt te staan, gaan de moleculen van die stof steeds langzamer bewegen. Dit kan doorgaan tot de deeltjes volledig stilstaan. De temperatuur waarbij dit verschijnsel optreedt noemt met *'het absolute nulpunt'*. De temperatuur bij het absolute nulpunt bedraagt –273,15 °C. Men neemt aan dat dit de laagste temperatuur is die in ons heelal kan bestaan. Men gaat er echter van uit dat er geen absoluut hoogste temperatuur bestaat. Men heeft kunnen berekenen dat de temperatuur van ons heel jonge heelal, een fractie van een seconde ná de big bang, niet minder dan 10^{28} graden Celsius moet hebben bedragen. Op dit moment bedraagt de gemiddelde temperatuur in ons heelal, de *'achtergrondstraling'* genoemd, ongeveer -270 °C, dus drie graden boven het absolute nulpunt.

Temperatuurschalen
Een temperatuurschaal is een methode om de temperatuur van een voorwerp in een getal uit te drukken, zodat u deze kunt vergelijken met de temperatuur van andere voorwerpen. Er zijn diverse schalen ontwikkeld, die handig zijn voor verschillende toepassingen. In de dagelijkse praktijk gebruikt men in Nederlandstalige landen de schaal van Celsius en drukt men de temperatuur uit in graden Celsius. Deze schaal wordt gekenmerkt door twee ijkpunten:
- Temperatuur van bevriezend zuiver water: 0 °C
- Temperatuur van kokend zuiver water: +100 °C

Deze schaal is echter niet de enige die bestaat en bij de bespreking van temperatuursensoren gaat men vaak uit van andere schalen. In het kort een overzicht van de gebruikte temperatuurschalen.

De Kelvin-schaal
Deze schaal werd in 1848 voorgesteld door William Thomson, de eerste baron van Kelvin. Dit is de enige toegelaten wetenschappelijke temperatuurschaal met als belangrijkste kenmerk dat het nulpunt bij het absolute nulpunt ligt. 0 °K komt dus overeen met -273,15 °C en 1 °K =

1 °C.
De omrekeningsformules zijn:

°K = °C + 273,15

°C = °K - 273,15

De Fahrenheit-schaal

De nog steeds in de Angelsaksische landen gebruikte schaalverdeling met het vriespunt van water bij +32 °F, het kookpunt van water bij +212 °F en het absolute nulpunt bij -459,67 °F. Voorgesteld in 1724 door Gabriel Fahrenheit, een Pools/Duits natuurkundige die in de Verenigde Nederlanden leefde.
De omrekeningsformules zijn:

°F = 9/5 °C + 32

°C = 5/9 (°F - 32)

De Réaumur-schaal

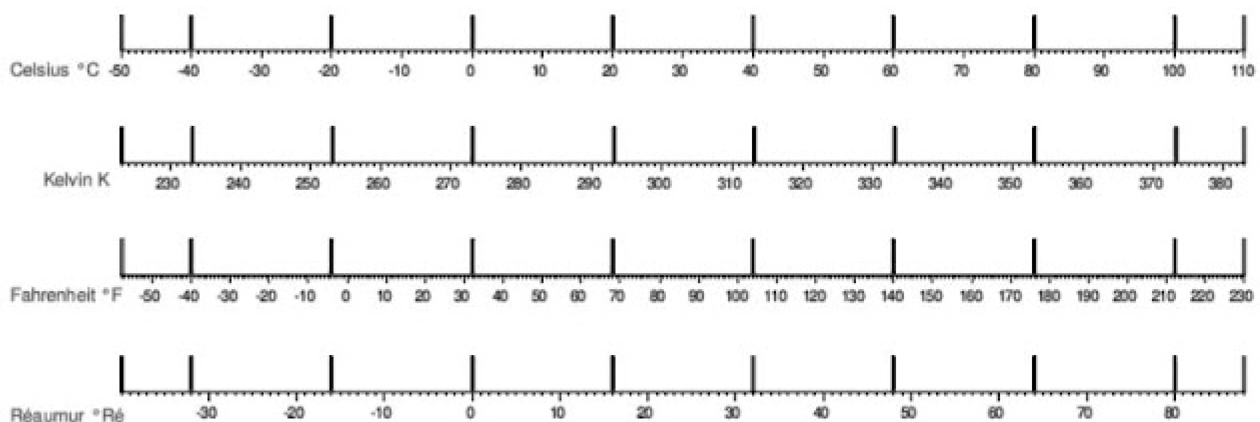
Een door de Fransman René-Antoine Ferchault de Réaumur in 1731 ontwikkelde schaal. Het vriespunt van water is gesteld op 0 °Ré, en het kookpunt van water bij normale atmosferische druk op 80 °Ré.
Omrekening:

°C = 0,8 °Ré

°Ré = 1,25 °C

Het grafisch verband tussen de verschillende schalen

In de onderstaande afbeelding hebben wij het verband tussen de drie besproken schalen en de u bekende Celsius-schaal overzichtelijk in beeld gebracht.

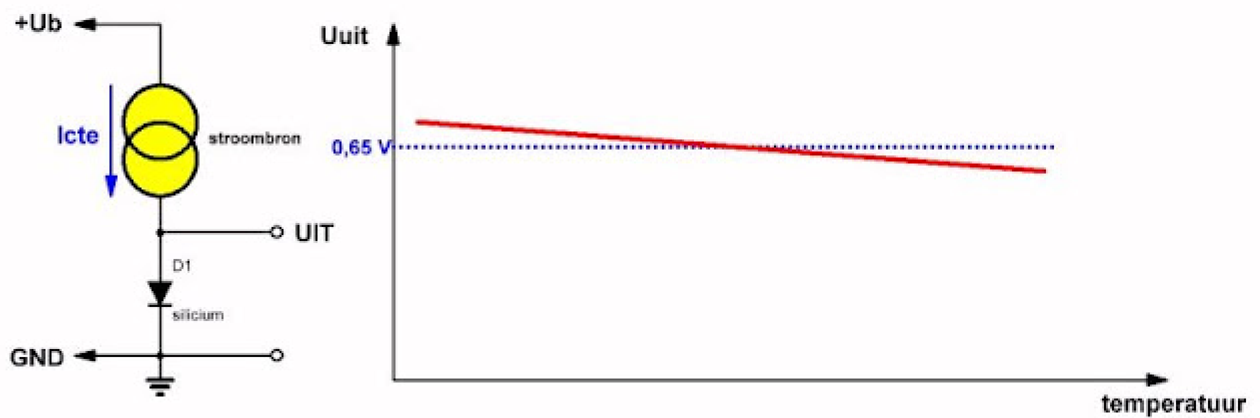


Het omrekenen tussen de vier besproken temperatuurschalen. (© Wikipedia)

Basisprincipes van elektronische temperatuursensoren

De siliciumdiode als temperatuursensor

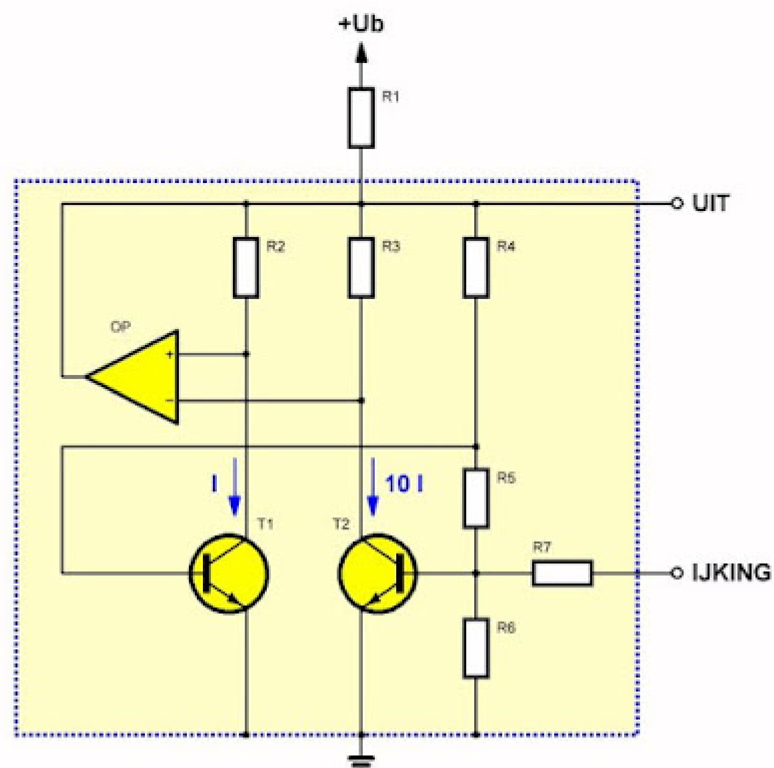
De meest eenvoudige manier waarmee u temperaturen op een elektronische manier kunt meten is het sturen van een constante stroom door een geleidende siliciumdiode volgens het schema van de onderstaande figuur. De geleidingsspanning van een diode is over een tamelijk breed gebied lineair afhankelijk van de temperatuur. De gemiddelde geleidingsspanning van een Si-diode bedraagt ongeveer 0,65 V, een en ander afhankelijk van de stroom en deze spanning zal met ongeveer 2 mV/°C dalen bij stijgende temperatuur. Het nadeel van de diodesensor is dat er grote spreidingen bestaan op de geleidingsspanning van diode tot diode. Bovendien is de gevoeligheid zeer laag: een temperatuurvariatie van 1 °C beïnvloedt de spanning met slechts 0,3 %. Tot slot is de lineariteit niet ideaal: over een gebied van 200 °C moet u rekening houden met gemiddelde lineariteitsfouten van meer dan 3 %.



Een geleidende Si-diode als temperatuursensor. (© 2019 Jos Verstraten)

Een transistorpaar als sensor
Schakelt u de emitters van twee volledig identieke transistoren parallel en stuurt u door de ene een veel grotere collectorstroom dan door de andere, zie onderstaande figuur, dan wordt het spanningsverschil tussen de twee basis/emitter-spanningen gegeven door de uitdrukking:
$U_{be1} - U_{be2} = \Delta U_{be} = k \bullet T/q \bullet \ln [I1 / I2]$
waarin:
- k de constante van Boltzman.
- q de lading van een elektron.
- T de temperatuur in °K.

U kunt deze formule vereenvoudigen tot:
$\Delta U_{be} = \varphi \bullet T$
Het spanningsverschil ΔU_{be} is dus recht evenredig met de absolute temperatuur, hetgeen fysisch wil zeggen dat het spanningsverschil bij het absolute nulpunt gelijk zou zijn aan 0 V en vanaf dit nulpunt voor iedere °K of °C temperatuurstijging met een bepaalde constante spanning φ zou stijgen.

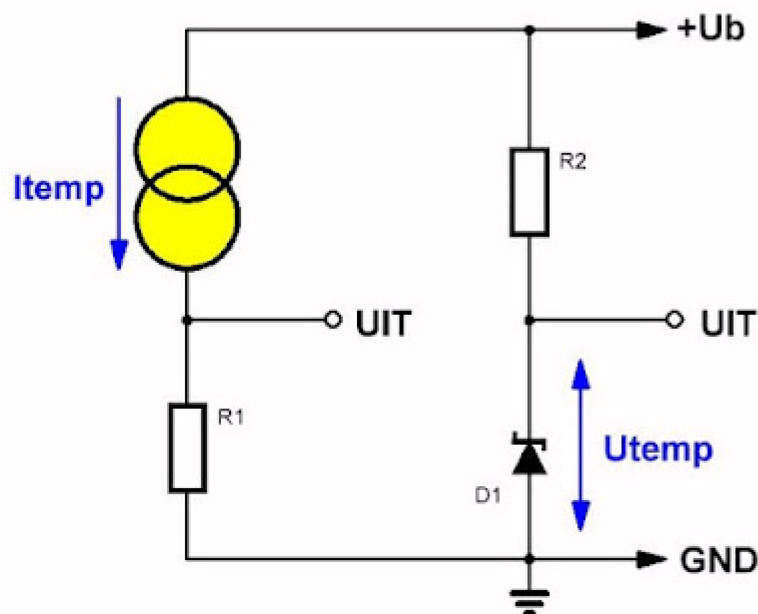


Het spanningsverschil ΔU_{be} is recht evenredig met de absolute temperatuur. (© 2019 Jos Verstraten)

Deze zeer kleine spanning kan nu, afhankelijk van de interne schakeling van de sensor, worden omgezet in een uitgangsspanning:
$U_{PTAT} = A \bullet \Delta U_{be} = A \bullet \varphi \bullet T$

of in een uitgangsstroom:
$I_{PTAT} = g \bullet \Delta U_{be} = g \bullet \varphi \bullet T$
In deze formules staat A voor de spanningsversterking van de interne schakeling en g voor de transconductantie of geleiding.

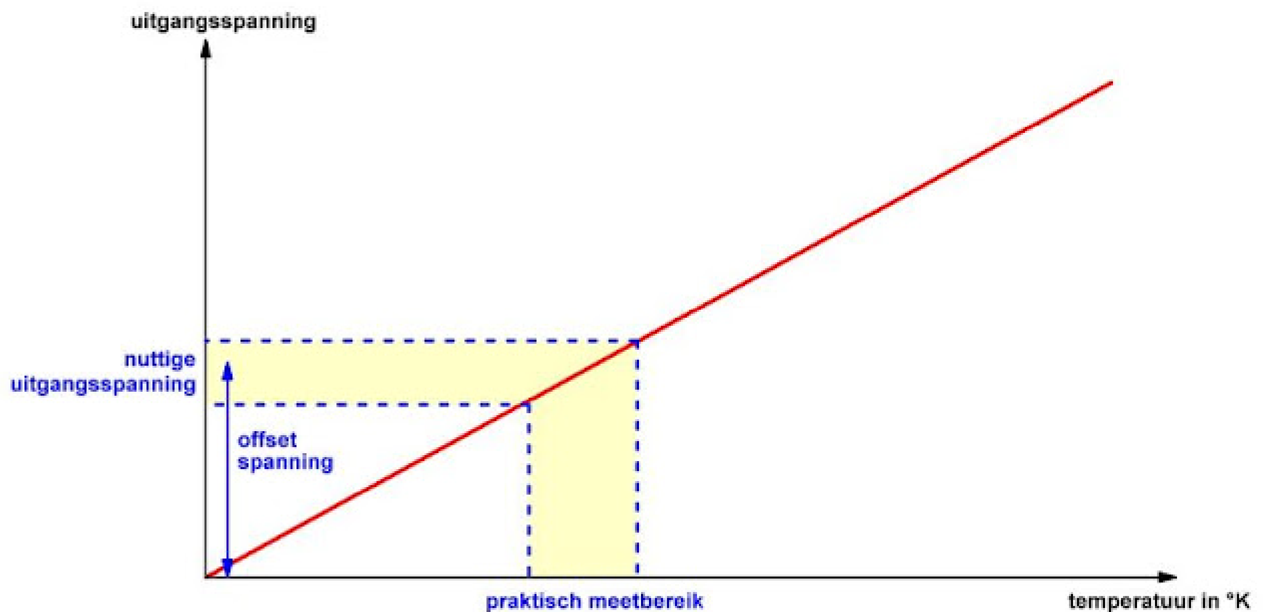
Spanning of stroom
Er zijn dus sensoren die een uitgangsspanning opwekken en sensoren die een uitgangsstroom genereren en in beide gevallen zal de uitgangsgrootheid lineair stijgen vanaf nul met de absolute temperatuur. Er bestaan bijgevolg twee symbolen voor temperatuursensoren. Volgens de onderstaande figuur kunt u een sensor voorstellen door een temperatuur afhankelijke stroombron (links) of door een temperatuur afhankelijke zenerdiode (rechts). In het eerste geval moet de uitgangsstroom I_{PTAT} omgezet worden in een spanning door de sensorstroom door een weerstand R1 te laten vloeien. In het tweede geval kunt u de uitgangsspanning U_{PTAT} rechtstreeks over de sensor aftakken.



Het verschil tussen een stroom- en een spanningsensor.
(© 2019 Jos Verstraten)

Gevoeligheid
De gevoeligheid van de meeste sensoren is betrekkelijk klein. De variatie per graad Kelvin of Celsius bedraagt meestal niet meer dan 10 mV of 1 µA.

PTAT
De uitgangsgrootheid van een sensor wordt *'PTAT'* genoemd, hetgeen staat voor *'Proportional To Absolute Temperature'* of *'recht evenredig met de absolute Kelvin-temperatuur'*. Deze eigenschap, gecombineerd met de lage gevoeligheid, brengt enige nadelen met zich mee. Zoals uit de onderstaande figuur blijkt kunt u de uitgangsspanning van een temperatuursensor splitsen in twee delen.
Eerst een tamelijk grote offset, omdat het praktische temperatuurbereik van de meeste sensoren tussen -50 °C en +150 °C zit en dit overeen komt met 223 °K en 423 °K. Een sensor met een U_{PTAT} van 10 mV zal bij de normale kamertemperatuur van +20 °C een spanning van 2,93 V opwekken en de uitgangsspanning zal rond deze waarde schommelen met slechts 10 mV/°C. Als de uitgangsspanning van de sensor varieert met een tiende volt weet u nooit zeker of dit een gevolg is van een temperatuurschommeling of van slechte stabiliteitseigenschappen van de schakeling.



Voor normale temperaturen levert een PTAT-sensor een grote offset. (© 2019 Jos Verstraten)

Het compenseren van de offset

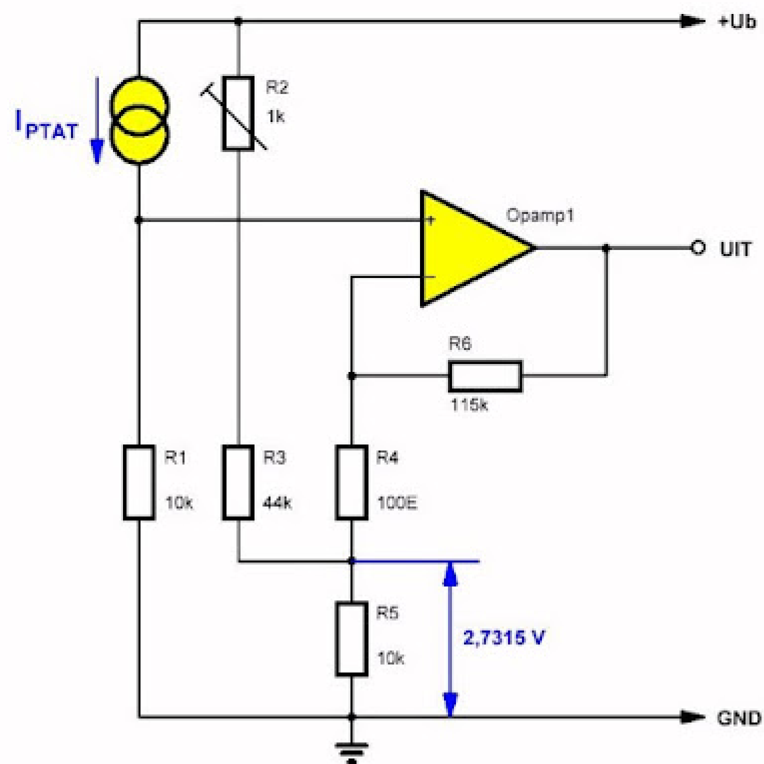
In de meeste gevallen zult u een temperatuursensor willen toepassen in een in graden Celsius geijkte meter. Dat wil zeggen dat de schakeling een uitgangsspanning van 0,0 V moet afleveren bij een temperatuur van 0 °C. Een TPAT-sensor met een gevoeligheid van 10 mV/°K levert bij deze temperatuur echter een uitgangsspanning van 2.731,5 mV. U moet deze offset compenseren met een schakeling zoals getekend in de onderstaande figuur.

Deze schakeling doet twee dingen. Op de eerste plaats wordt de door de I_{PTAT} over de weerstand van 10 kΩ opgewekte U_{PTAT} vergeleken met een nauwkeurige spanning van 2,7315 V. De operationele versterker is als differentiële versterker geschakeld en berekent het spanningsverschil tussen de U_{PTAT} en de referentiespanning. Op de tweede plaats versterkt de op-amp dit kleine spanningsverschil, zodat de gevoeligheid van de sensor wordt opgevoerd tot bijvoorbeeld 100 mV/°C.

De versterkingsfactor wordt bepaald door de verhouding van de weerstanden in de terugkoppeling naar de inverterende ingang.

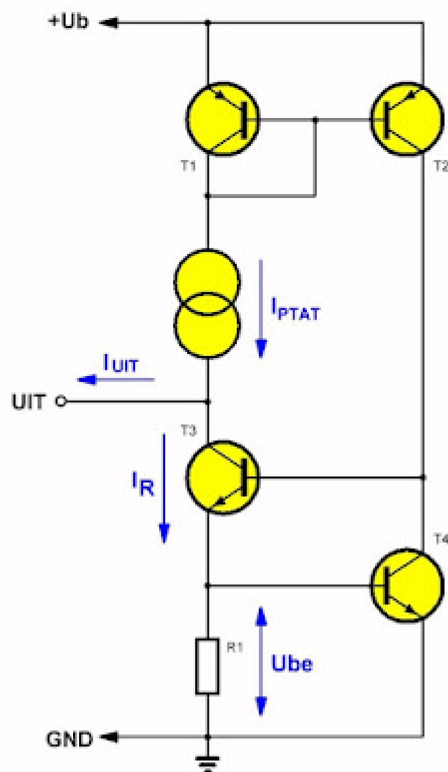
De uitgangsspanning van de schakeling wordt dus gegeven door:

$U_{UIT} = A \bullet [U_{PTAT} - 2{,}7315\ V]$



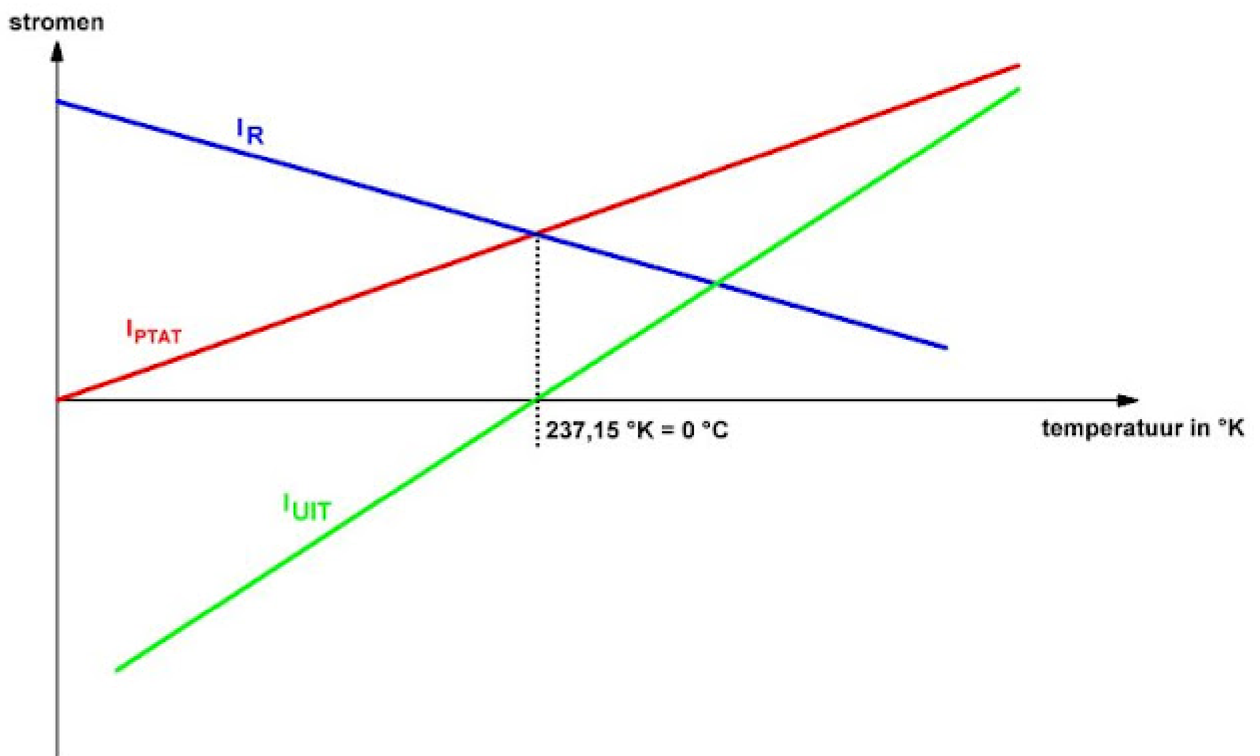
Het compenseren van de offset geeft een °C- of °F-schaal. (© 2019 Jos Verstraten)

°C/°F sensoren
De vervelende offset-eigenschappen van de PTAT-sensoren hebben geleid tot het ontwikkelen van een tweede generatie temperatuursensoren. Deze IC's bezitten een interne offset-compensatie met als gevolg dat zij een uitgangsspanning of -stroom leveren die de °C of °F schaal volgt. Bij 0 °C zal de uitgangsgrootheid nul zijn, negatieve temperaturen leveren een negatieve uitgangsspanning of -stroom op, positieve temperaturen een positieve uitgang. Het vereenvoudigde principiële schema van deze *'self-offsetting'* sensoren is getekend in de onderstaande figuur.
De schakeling is samengesteld uit een normale I_{PTAT}-sensor en een U_{be}-sensor. Deze U_{be} veroorzaakt door de weerstand R een stroom I_R, die daalt bij stijgende temperatuur. De schakeling levert een uitgangsstroom:
$I_{OUT} = I_{PTAT} - I_R$



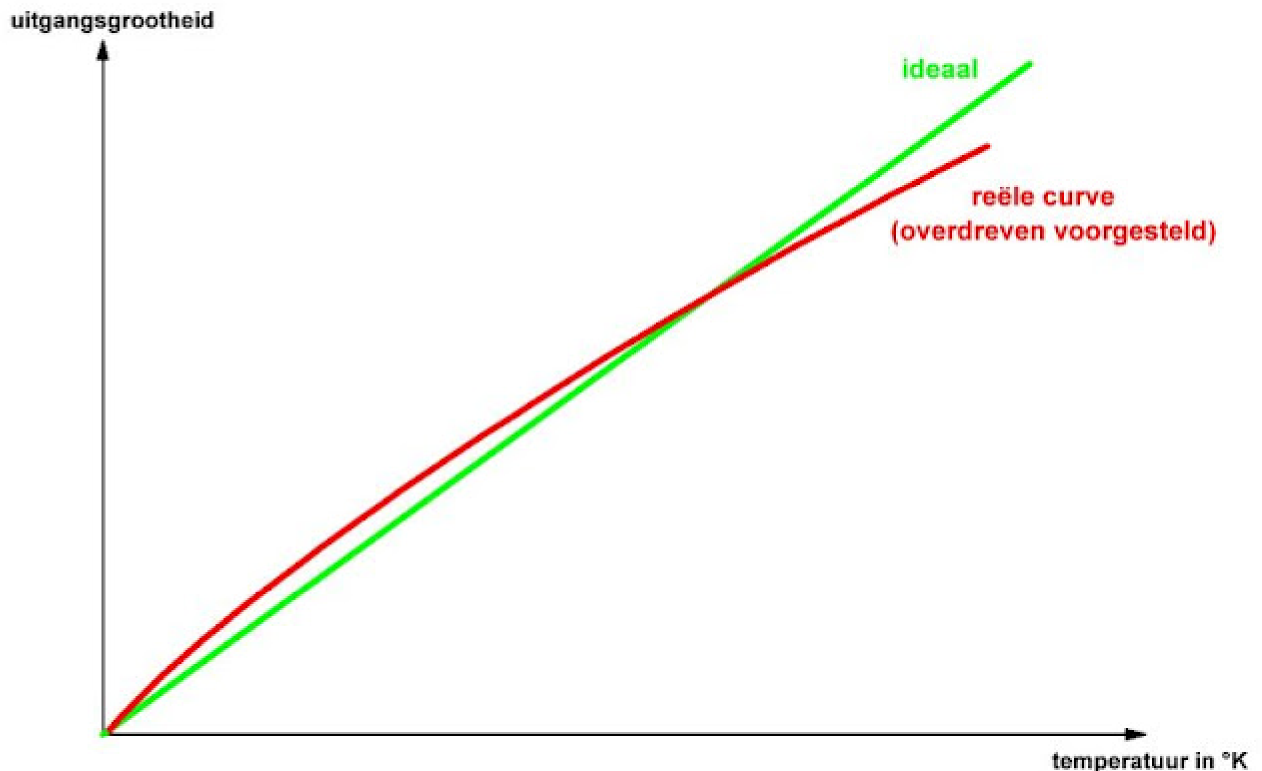
Het principe-schema van een 'self-offsetting' temperatuursensor.
(© 2019 Jos Verstraten)

Uit de grafieken van de onderstaande figuur kunt u afleiden dat het mogelijk is I_{OUT} gelijk aan nul te stellen bij 273,15 °K door de hellingen van I_R en I_{TPAT} een specifieke waarde te geven.
Bij 0 °C is $I_R = I_{PTAT}$ en is $I_{UIT} = 0$.
Bij negatieve Celsius-temperaturen is $I_{PTAT} < I_R$ en I_{OUT} negatief.
Bij positieve Celcius-temperaturen is $I_{PTAT} > I_R$ en IOUT positief.
U kunt de uitgang van zo'n *'self-offsetting'* sensor rechtstreeks aansluiten op de analoge ingang van een ADC en er ontstaat een zeer eenvoudige digitale temperatuurmeter.



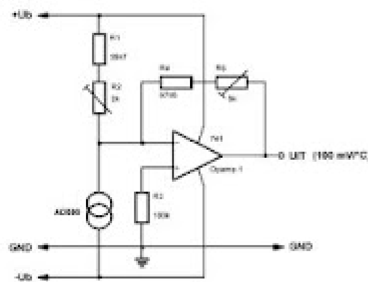
Uit deze grafieken blijkt duidelijk dat het stroomverschil I_{UIT} de Celsius-schaal volgt.
(© 2019 Jos Verstraten)

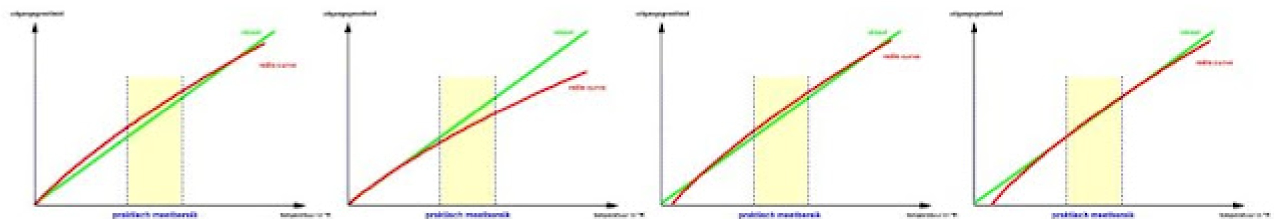
Foutcompensatie
Zuiver theoretisch voldoet een PTAT-sensor aan de uitdrukking:
$UIT_{PTAT} = \varphi \bullet T$
Het grafisch verband tussen de uitgangsgrootheid en de absolute temperatuur T zou dus een kaarsrechte lijn moeten zijn. Zoals meestal het geval is komt ook nu van dit theoretische verband in de praktijk weinig terecht. Sterk overdreven kunt u de praktische transferkarakteristiek, zoals getekend in de onderstaande figuur, voorstellen door een gebogen lijn. Er zijn twee afwijkingen van de ideale rechte te onderscheiden.
Op de eerste plaats een fout, veroorzaakt door de spreidingen op de gevoeligheid. Een sensor met een gespecificeerde omzettingsfactor van 10 mV/°K zal in de praktijk een gevoeligheid hebben die ligt tussen 9,995 en 10,005 mV/°K. Op de tweede plaats vertoont de helling een bepaalde niet lineariteit.



De reële transferkarakteristiek van een PTAT-sensor vergeleken met de ideale rechte lijn.
(© 2019 Jos Verstraten)

Compenseren
De twee afwijkingen kunt u compenseren met het schema van de onderstaande figuur. In dit specifieke geval gaat het over het compenseren van een AD590 (lees later) van Analog Devices. De grafieken onder het schema geven de vier fasen in de afregeling.
- Fase a: De niet gecompenseerde transfer-karakteristiek.
- Fase b: Het compenseren van de offset-fout met R2.
- Fase c: Het compenseren van de ijkings- of slope-fout met R5.
- Fase d: Het hernieuwd compenseren van de offset met R2.





Het schema van en het afregelen van de compensatie-schakeling. (© 2019 Jos Verstraten)

Opmerking
Hoewel het onmogelijk is de niet-lineariteit te compenseren zal het uit de beschreven afregelingprocedure duidelijk zijn dat u de invloed van de niet-lineariteit in het werkzame temperatuurgebied kunt minimaliseren door de doordachte selectie van twee ijkingspunten. Moet u bijvoorbeeld een digitale thermometer ontwerpen voor het gebied van -20 °C tot +50 °C, dan kunt u de fout veroorzaakt door de niet-lineariteit beperken tot ongeveer +0,2 °C als u de praktische met de theoretische transfer-curve laat samenvallen bij 0 °C en +25 °C.

Type-beschrijving

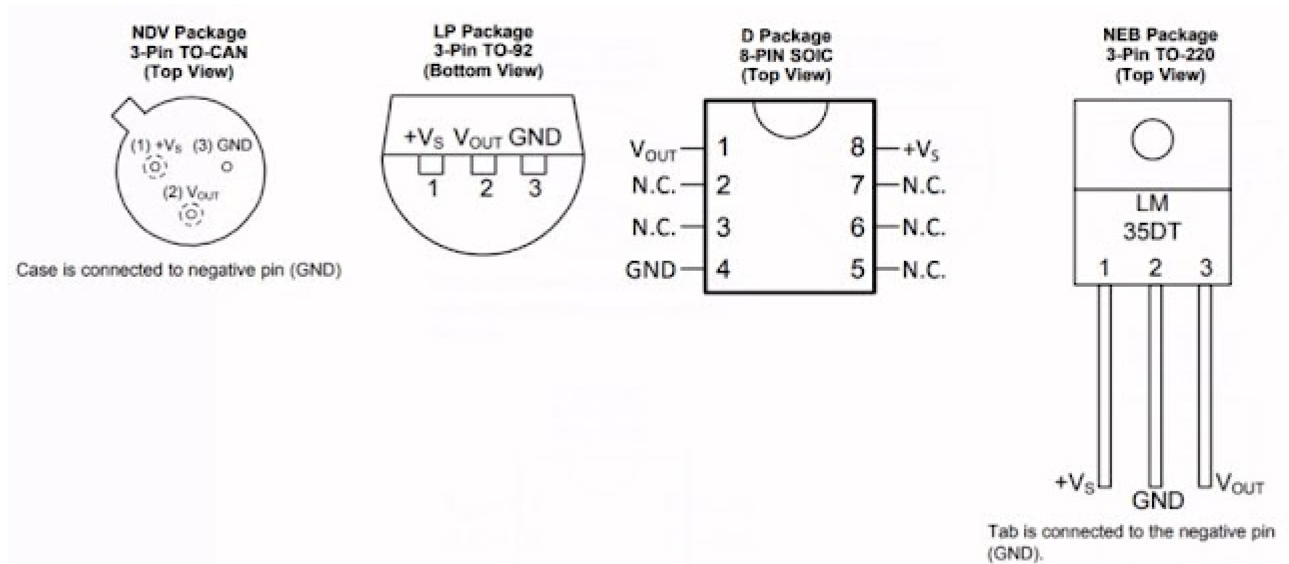
In de volgende paragrafen worden de vier bekendste en goed leverbare analoge temperatuursensoren in het kort en praktijkgericht beschreven. Praktijkgericht, omdat met de gegeven informatie u de sensoren zonder problemen in de praktijk kunt toepassen. Bij ieder type wordt een richtprijs vermeld, zodat u ook deze factor in uw keuze kunt betrekken.

LM35: 10 mV/°C, -55 °C tot +150 °C

Beschrijving
De LM35 is een Celsius-sensor met interne ijking tot op ±3/4 °C over het volledige temperatuurgebied en met een eigen stroomopname van slechts 60 µA, zodat de nauwkeurigheid niet wordt beïnvloed door opwarming van de chip. De LM35 is leverbaar in diverse behuizingen, bereiken en nauwkeurigheidsklassen.

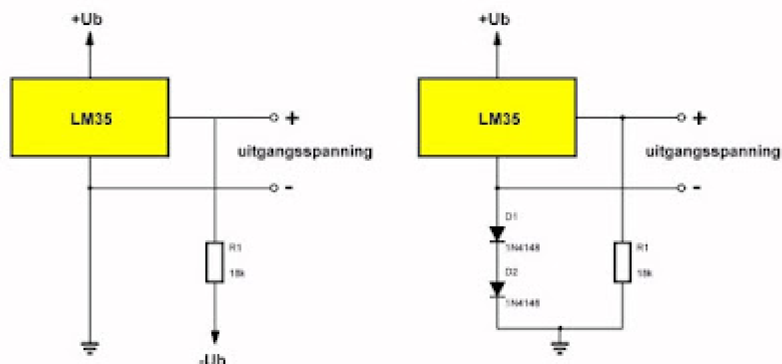
Technische gegevens
- **Fabrikanten:** National Semiconductor, Texas Instruments
- **Richtprijs:** vanaf € 1,05
- **Behuizingen:** TO-CAN, TO-92, SOIC8, TO-220
- **Voedingsspanning:** +4,0 V tot +30,0 V
- **Meetbereik LM35 en LM35A:** -55 °C tot +150 °C
- **Meetbereik LM35C en LM35CA:** -40 °C tot +110 °C
- **Meetbereik LM35D:** 0 °C tot +100 °C
- **Gevoeligheid:** +10 mV/°C
- **Spreiding:** 9,8 mV/°C tot 10,2 mV/°C
- **Spreiding LM35A:** 9,9 mV/°C tot 10,1 mV/°C
- **Nauwkeurigheid LM35A en LM35CA:** ±0,5 °C typisch
- **Nauwkeurigheid LM35 en LM35C:** ±1,0 °C typisch

- **Nauwkeurigheid LM35D:** ±1,5 °C typisch
- **Niet-lineariteit:** 0,5 °C maximaal
- **Stabiliteit:** 0,08 °C/1.000 uur
- **Uitgangsimpedantie:** 0,1 Ω
- **Eigen opwarming:** 0,1 °C max. in open lucht



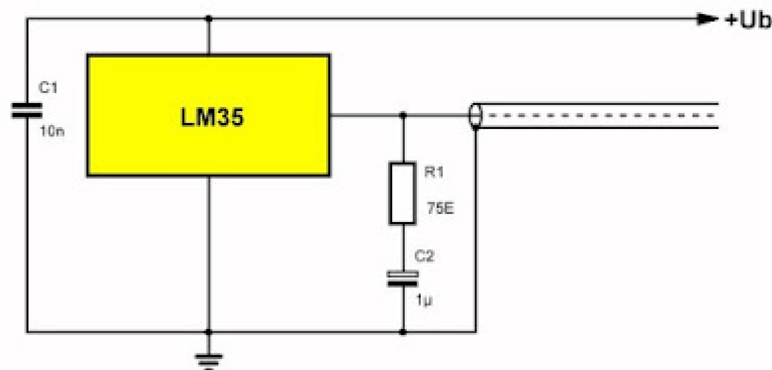
Behuizingen en aansluitgegevens van de LM35. (© Texas Instruments)

Basisschema's
In de onderstaande figuur zijn de basisschema's voor een temperatuurmeter over het volledige bereik getekend, links met symmetrische en rechts met asymmetrische voeding.



Basisschema's rond de LM35. (© 2019 Jos Verstraten)

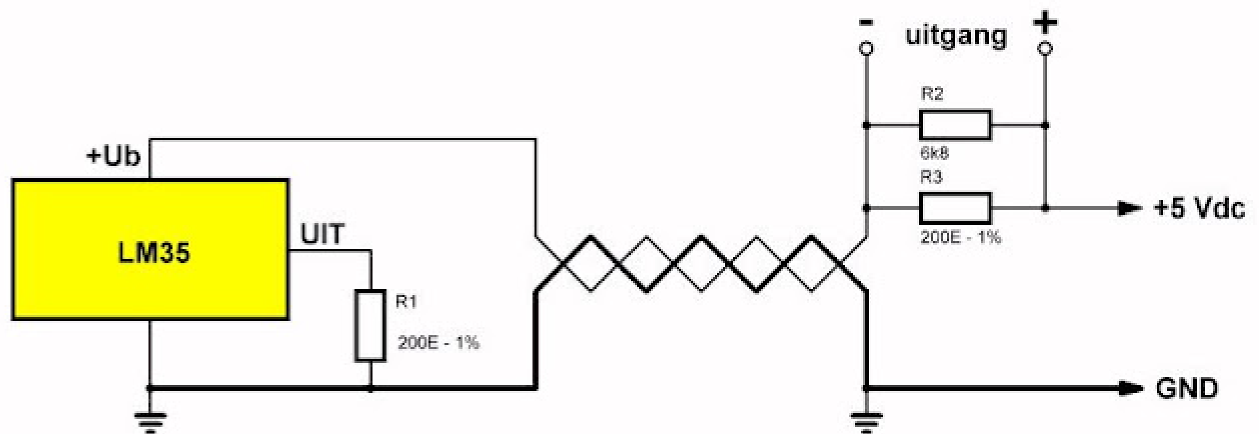
Belasting met lange kabel
Als u de LM35 op enige afstand van de rest van de elektronica gebruikt en de sensor op een lange kabel is aangesloten, moet u het onderstaande schema toepassen.



Aansluiten van de LM35 op een lange lijn. (© 2019 Jos Verstraten)

Twee-draad temperatuursensor met de LM35
Met onderstaande schakeling kunt u de LM35 toepassen als een lange afstand twee-draad

sensor. De voedingsspanning voor de sensor wordt via de twisted-pair kabel aangevoerd. De schakeling heeft een bereik van +2 °C tot +40 °C met een gevoeligheid van 10 mV/°C.

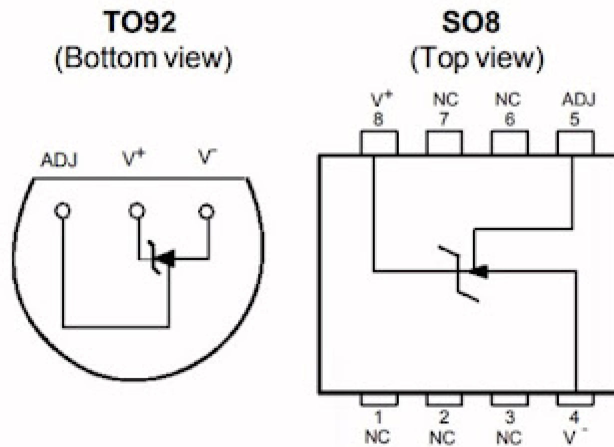


Een LM35 wordt gevoed via een lange twisted-pair kabel. (© 2019 Jos Verstraten)

LM135/235/335: 10 mV/°K, -55 °C tot -150 °C

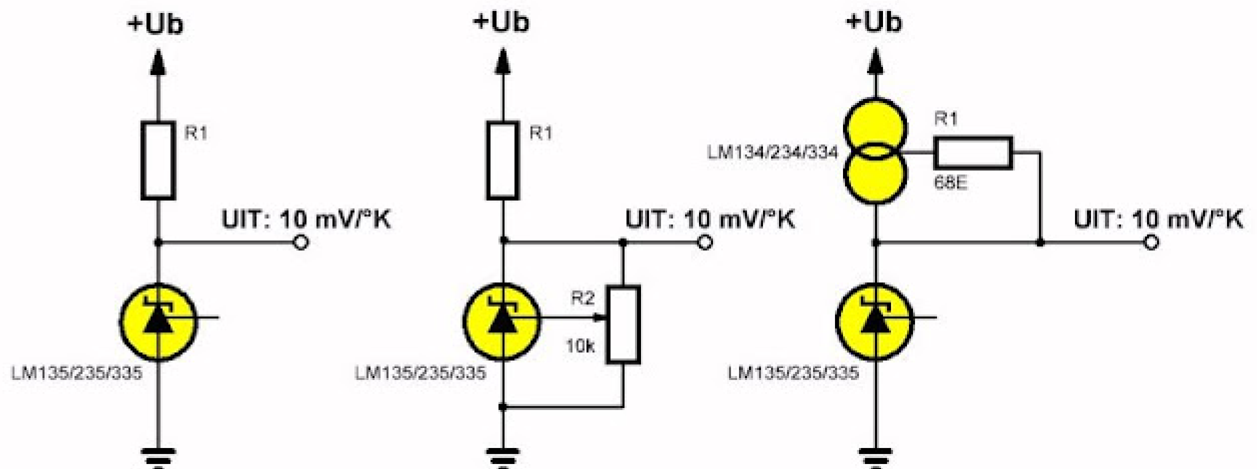
Beschrijving
De LM135/235/335 is een PTAT spanningssensor met extra kalibratie-ingang en een fout van minder dan 1 °C over een 100 °C bereik. Deze sensor moet u als een gewone zenerdiode middels een voorschakelweerstand met de voedingsspanning verbinden.

Technische gegevens
- **Fabrikanten:** National Semiconductor, ST Microelectronics, SGS-Thomson
- **Richtprijs:** vanaf € 8,20 voor de nauwkeurigste versie
- **Behuizingen:** TO-92, SOIC8
- **Meetbereik LM135:** -55 °C tot +150 °C
- **Meetbereik LM235:** -40 °C tot +125 °C
- **Meetbereik LM335:** -40 °C tot +100 °C
- **Gevoeligheid:** +10 mV/°K
- **Spreiding bij 25 °C:** 2,95 V tot 3,01 V
- **Nauwkeurigheid, niet afgeregeld:** ±5 °C maximaal
- **Nauwkeurigheid LM135, LM235, afgeregeld bij +25 °C:** ±1,0 °C maximaal
- **Nauwkeurigheid LM335, afgeregeld bij +25 °C:** ±2,0 °C maximaal
- **Niet-lineariteit LM135, LM235:** 1 °C maximaal
- **Niet-lineariteit LM3355:** 1,5 °C maximaal
- **Stroom:** 450 μA tot 5,0 mA
- **Uitgangsimpedantie:** 0,6 Ω max.
- **Tijdconstante in lucht:** 80 s
- **Stabiliteit:** 0,2 °C/1000 uur



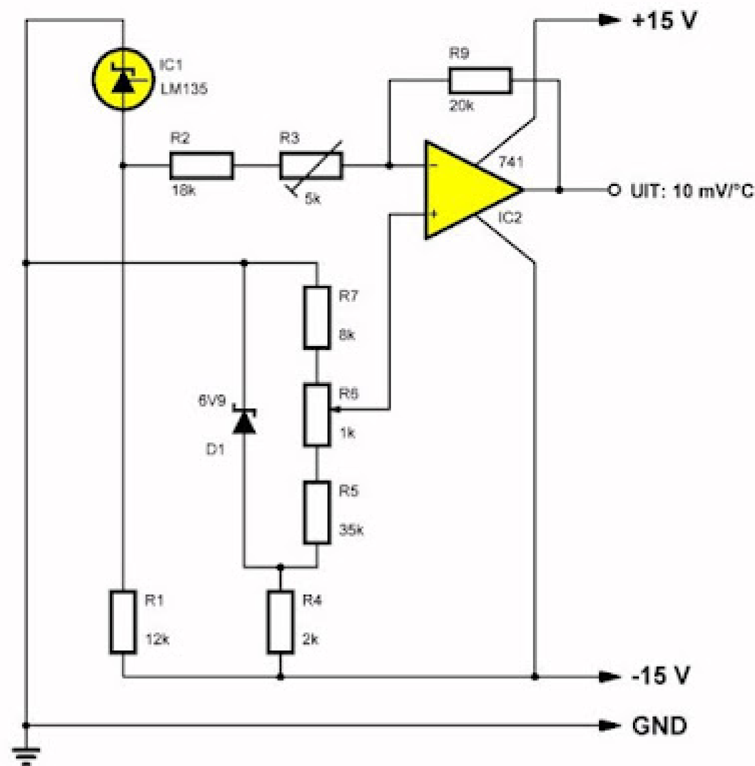
Behuizingen en aansluitgegevens van de LM135/235/335. (© SGS-Thomson)

Voorbeeldschakelingen
In de onderstaande figuur zijn de basisschakelingen rond de LM135/235/335 getekend, links de meest eenvoudige toepassing, midden een kalibratie-uitbreiding en rechts met extra stroombron voor toepassingen waar een hoge en/of variërende voedingsspanning ter beschikking staat. Deze drie schakelingen leveren een uitgangsspanning die proportioneel is aan de temperatuur uitgedrukt in °K.



De standaard schakelingen rond de LM135/235/335. (© 2019 Jos Verstraten)

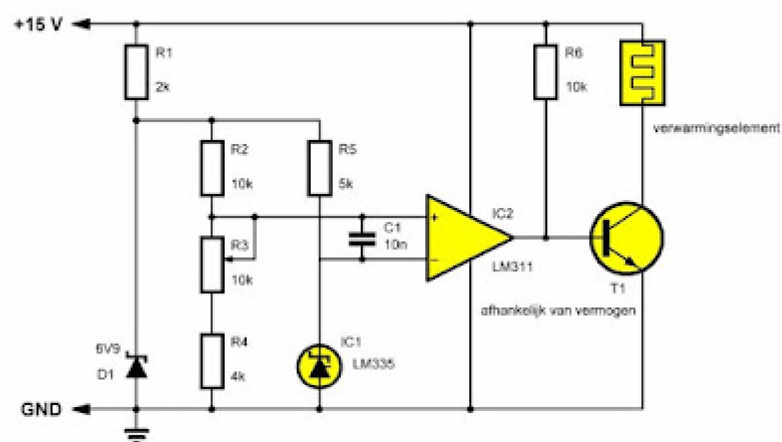
Omzetten naar een Celsius-schaal
In het onderstaand schema wordt voorgesteld hoe u de LM135/235/335 kunt omvormen tot een temperatuurmeter. Met de twee instelpotentiometers kunt u, op de reeds beschreven manier, de schaal en het nulpunt afregelen. Met R6 regelt u het nulpunt van de schaal (0 V uitgangsspanning bij 0 °C), met R3 de schaalfactor (1 V uitgang bij 100 °C). Beide afregelingen beïnvloeden elkaar, dus u moet de afregeling diverse keren herhalen tot de twee ijkpunten zo goed mogelijk kloppen.



Een temperatuurmeter met °C uitlezing. (© 2019 Jos Verstraten)

Een thermostaat-regeling

In de onderstaande figuur wordt een thermostaat-regeling voorgesteld, waarmee u een verwarmingselement kunt sturen. Het is een eenvoudige AAN/UIT-regeling zonder hysteresis, hetgeen inhoudt dat de regeling rond de insteltemperatuur gaat 'klapperen'. Als comparator wordt de bekende LM311 toegepast. De uitgang van deze schakeling moet u via een weerstand met de voedingsspanning verbinden. Het soort vermogenstransistor is uiteraard afhankelijk van het vermogen van het verwarmingselement. Eventueel kunt u dit voeden uit een hogere spanning dan 15 V, let wél op de doorslagspanning van de gebruikte transistor!



Een eenvoudige thermostaat-schakeling met een LM335. (© 2019 Jos Verstraten)

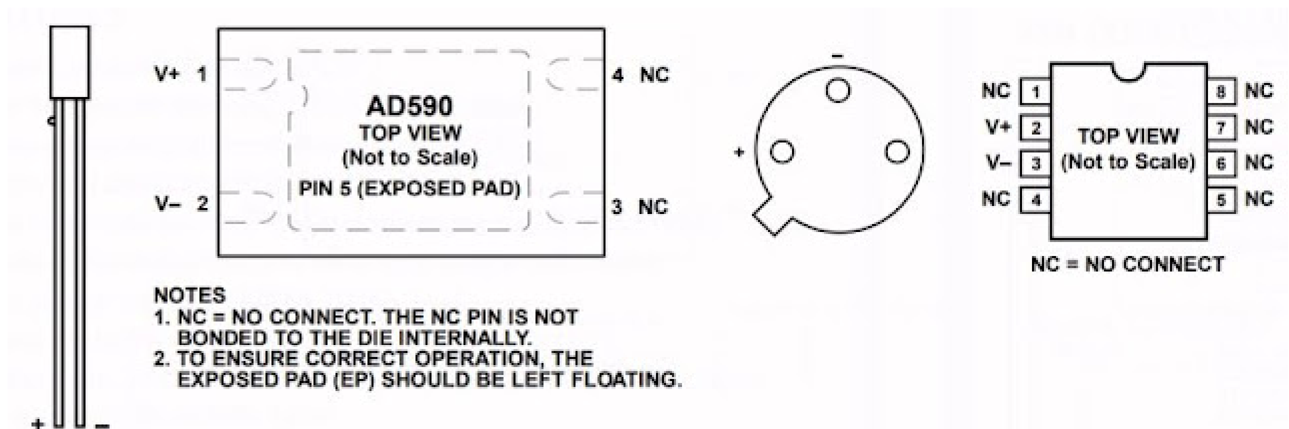
AD590: 1 µA/°K, -55 °C tot +150 °C

Beschrijving

De AD590 is een temperatuur-afhankelijke stroombron volgens het PTAT-principe, intern lasergetrimd op een maximale onnauwkeurigheid van ±0,5 °C voor de duurste uitvoering en ±5,0 °C voor de goedkoopste uitvoering.

Technische gegevens

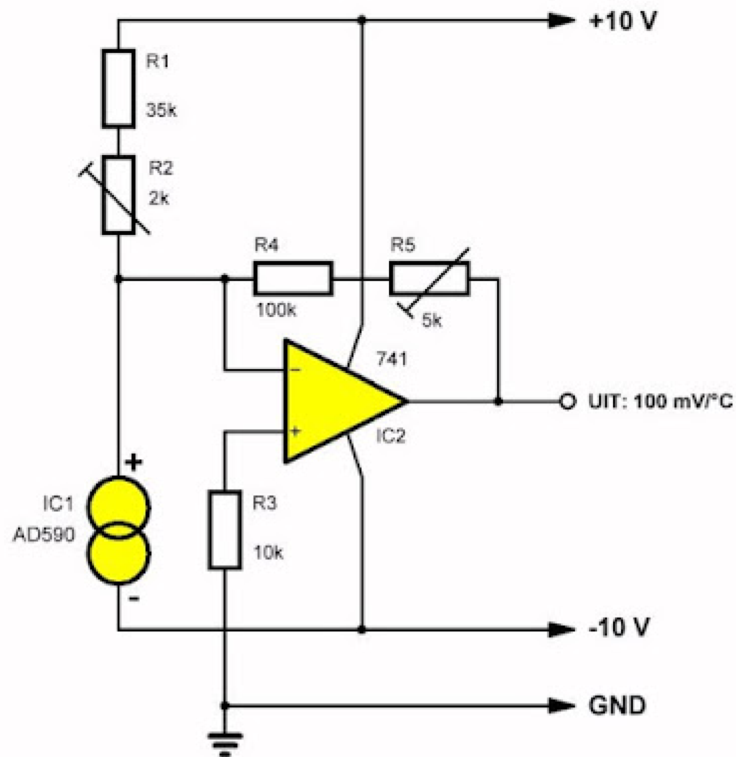
- **Fabrikant:** Analog Devices
- **Richtprijs:** vanaf € 8,20 voor de minst nauwkeurige versie
- **Richtprijs:** vanaf € 59,00 voor de nauwkeurigste versie
- **Behuizingen:** TO-52, SOIC8, 4-Lead LFCSP, 2-Lead FLATPACK
- **Meetgebied:** -55 °C tot +150 °C
- **Voedingsspanning:** +4 V tot +30 V
- **Gevoeligheid:** 1 µA/°K
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD590M:** ±0,5 °C
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD590L:** ±1,0 °C
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD590K:** ±2,5 °C
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD590J:** ±5,0 °C
- **Niet-lineariteit van de AD590M:** ±0,3 °C
- **Niet-lineariteit van de AD590L:** ±0,4 °C
- **Niet-lineariteit van de AD590K:** ±0,8 °C
- **Niet-lineariteit van de AD590J:** ±1,5 °C
- **Vermogensverbruik:** 1,5 mW bij 5 V en 25 °C
- **Shunt-capaciteit:** 100 pF typisch
- **Uitgangsimpedantie:** 10 MΩ



Behuizingen en aansluitgegevens van de AD590. (© Analog Devices)

Standaardschema

In de onderstaande figuur is het standaardschema getekend voor een Celsius-uitgang met externe afregeling voor offset en slope. Ook nu moet u zowel het nulpunt als de schaal weer met twee potentiometertjes afregelen, waarbij beide regelingen elkaar beïnvloeden. Met R2 stelt u de offset in, met R5 de slope.



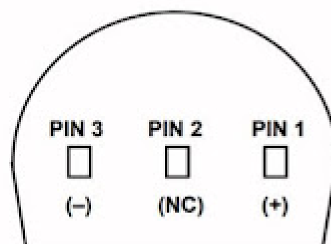
Een temperatuurmeter met de AD590 met °C-uitgang. (© 2019 Jos Verstraten)

AD592: 1 µA/°K, -25 °C tot +105 °C

Beschrijving
De AD592 is een goedkope temperatuur-afhankelijke stroombron volgens het PTAT-principe in plastic TO-92 behuizing, met een maximale nauwkeurigheid van ±0,5 °C bij 25 °C.

Technische gegevens

- **Fabrikant:** Analog Devices
- **Richtprijs:** vanaf € 5,10 voor de minst nauwkeurige versie
- **Richtprijs:** vanaf € 22,00 voor de nauwkeurigste versie
- **Behuizing:** TO-92
- **Meetgebied:** -25 °C tot +105 °C
- **Voedingsspanning:** +4 V tot +30 V
- **Gevoeligheid:** 1 µA/°K
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD592C:** ±0,5 °C
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD592B:** ±1,0 °C
- **Kalibratiefout bij 25 °C van de AD592A:** ±2,5 °C
- **Niet-lineariteit van de AD592C:** ±0,35 °C
- **Niet-lineariteit van de AD592B:** ±0,4 °C
- **Niet-lineariteit van de AD592A:** ±0,5 °C



Behuizing en aansluitgegevens van de AD592. (© Analog Devices)

Standaardschema

De AD592 werkt volgens hetzelfde principe als de duurdere AD590. U kunt dit IC dus op dezelfde manier toepassen.